

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑪ DE 32 16 285 C 2

⑤ Int. Cl. 4:  
H 02 M 9/02  
B 03 C 3/02

②① Aktenzeichen: P 32 16 285.5-32  
②② Anmeldetag: 26. 4. 82  
④③ Offenlegungstag: 3. 11. 83  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 7. 86

DE 32 16 285 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin  
GmbH, 1000 Berlin, DE

⑦④ Vertreter:

Wolff, K., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 1000 Berlin

⑦⑦ Erfinder:

Wilhelm, Martin, Ing.(grad.); Hansen, Diethard,  
Dipl.-Ing., 1000 Berlin, DE

⑤⑥ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene  
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-AS 17 63 559

DE-OS 21 18 938

VDE 0433, Teil 3/4.66, S.1-22: »Erzeugung und  
Messung von Hochspannungen«;

The Review of Scientific Instruments, Bd.20, Nr.12  
(Dezember 1949) S.861-869;

nachrichten elektronik, H.5 (1977) S.119/120;

Ebeling, E., Frungel, F., Martinen, H.: »Practical  
Measurements at a Water-Blumlein 500 KV EMP  
Generator and its Oscilloscope Measurements« in  
einer Firmenschrift der Fa. Impulsphysik GmbH,  
Hamburg, S.131/134;

⑤④ Impulsgenerator mit einer Gleichspannungsquelle

DE 32 16 285 C 2

Fig. 1

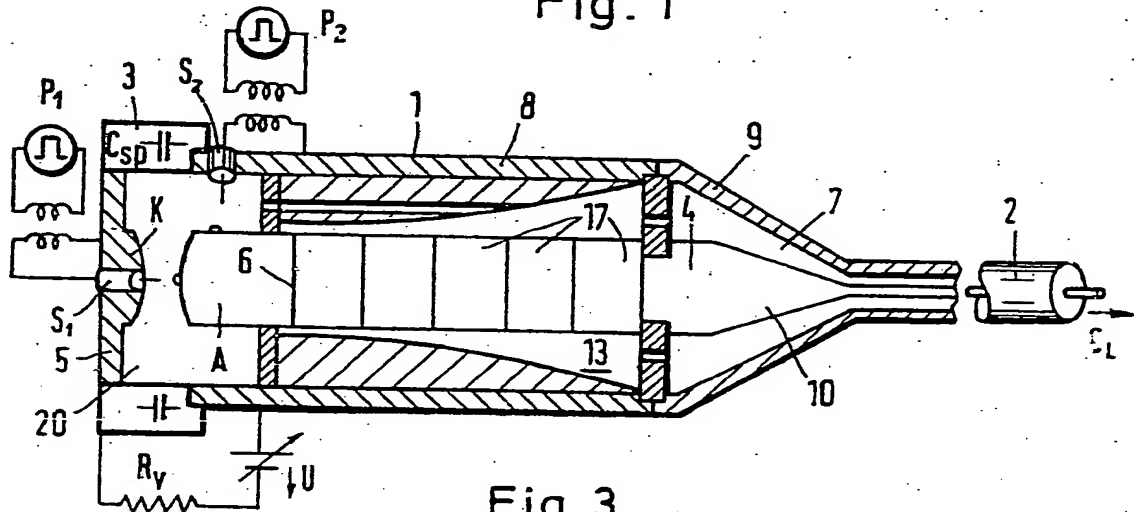


Fig. 3

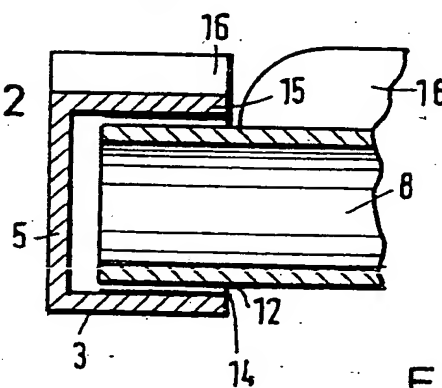


Fig. 4

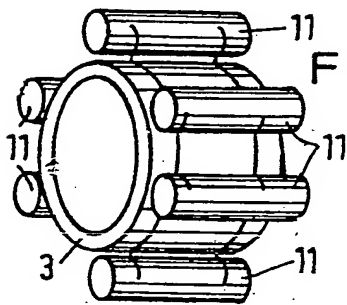
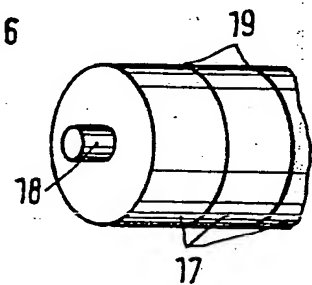


Fig. 2

Fig. 5

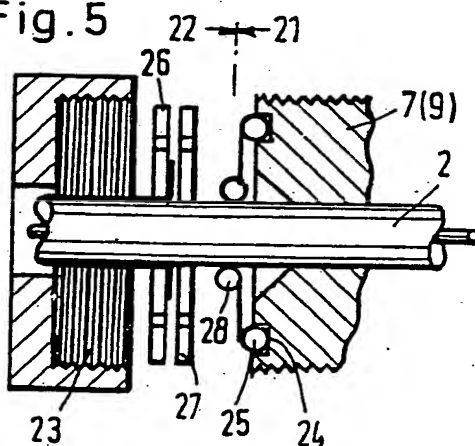


Fig. 6

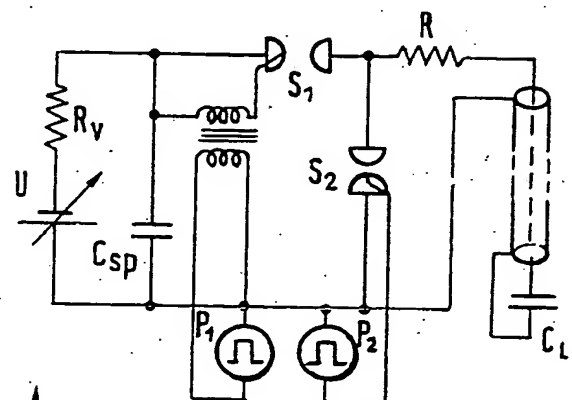
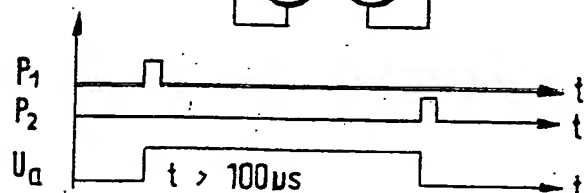


Fig. 7



## Patentansprüche:

1. Impulsgenerator mit einer Gleichspannungsquelle und einem kapazitiven Speicher in seinem Schaltkreis, einem Anschluß für ein zu einer Last führendes Koaxialkabel und einer Schaltstrecke, deren Elektroden in einem gasdichten, länglichen Gehäuse koaxial mit einem einen Spalt bildenden Abstand voneinander angeordnet sind, wobei sich eine dieser Elektroden an der Stirnfläche eines Innenkörpers befindet, der sich innerhalb des Gehäuses über einen großen Teil seiner axialen Länge erstreckt und in den ein ohmscher Widerstand integriert ist, gekennzeichnet durch ein Stromtor-Pulserrohr (1), das zum Erzeugen von Hochspannungs-Rechteckimpulsen in räumlich gedrangtem Aufbau auch die impedanzmäßig auf das anzuschließende Koaxialkabel (2) abgestimmten, in einem zum Umformen der von der Gleichspannungsquelle gelieferten Eingangsleistung in eine Stoß-Ausgangsleistung ausgelegten Schaltkreis befindlichen Stoßkreiselemente in im wesentlichen koaxialer Anordnung enthält, nämlich

- den kapazitiven Speicher (*Csp*) des Stoßkreises als Mantelgebilde (3) des Pulserrohres (1),
- den Abschlußwiderstand (*R*) für das anzuschließende Koaxialkabel (2) als Innenkörper (4) des Pulserrohres (1),
- die Elektroden (*A*, *K*) des Stromtores am Sockelboden (5) des Pulserrohres (1) bzw. an der einen Stirnfläche (6) des Innenkörpers (4) und
- einen Pulserkopf (7) für den Anschluß des Koaxialkabels (2) am anderen Ende des Pulserrohres (1), wobei der Mantel (8) des Pulserrohres (1) in den Außenleiter (9) und der Innenkörper (4) in den Innenleiter (10) des Pulserkopfes (7) übergehen.

2. Impulsgenerator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein reusenartig aus parallelliegenden Stabkondensatoren (11) aufgebautes Mantelgebilde (3) für den kapazitiven Speicher (*Csp*).

3. Impulsgenerator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein doppelrohrartig aufgebautes Mantelgebilde (3) für den kapazitiven Speicher (*Csp*) mit Kondensatorflächenbelägen auf der Außenfläche (12) des Gehäusemantels (8) des Pulserrohres (1) sowie auf der Innenfläche (14) eines Kranzes (15), der am Sockelboden (5) des Pulserrohres (1) angebracht ist.

4. Impulsgenerator nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Kühlrippen (16) am Kranz (15) des Sockelbodens (5) und/oder am Gehäusemantel (8).

5. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch einen aus keramischen Teilwiderständen (17) auf einem Zugstab (18) aufgebauten Abschlußwiderstand (*R*).

6. Impulsgenerator nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch Indiumfolien (19) zwischen den keramischen Teilwiderständen (17) zu deren Kontaktierung.

7. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch einen im Bereich des Abschlußwiderstandes (*R*) exponentialtrichterförmig ausgearbeiteten Gehäusemantel (8) des Pulserrohres (1).

8. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine triggerbare Schaltfunkenstrecke (*S<sub>1</sub>*) als Schaltmittel zum Einschalten eines Impulses.

9. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch ein Thyatron (20) als Stromtor-Pulserrohr (1).

10. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine triggerbare Schaltfunkenstrecke (*S<sub>2</sub>*) zum Abschalten eines Impulses.

11. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch einen sich über die gesamte Länge des Pulserrohres (1) erstreckenden Schutzgasraum (13).

12. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch mindestens eine ringförmige Nut (24) mit einer eingelegten Wendelfeder (25) je Kontaktstelle bei einer lösbaren, gasdichten Verbindung zwischen Pulserkopf (7) und Koaxialkabel (2).

13. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch Abschirmung gegen Röntgenstrahlung.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Impulsgenerator der, im Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegebenen Art.

Dabei wird von dem durch die DE-OS 21 18 938 bekannten Stand der Technik, vom Grundsatz her einem Kabelpulser, ausgegangen. Dort bestimmt die Länge eines Leitungs-Speicherelements die Breite des Pulses am Ausgangsanschluß. Weitere typische Merkmale von Kabelpulsern sind eine Funkenstrecke an einem Spalt und eine hochohmige Impedanz, die eine Nachlade- und Strombegrenzung darstellt. Die Leitungsanordnung ist bei dieser bekannten Anordnung in Richtung Impedanz ein offenes Leitungsende, und eine Materialfüllung im Innenraum erfüllt in erster Linie reflexionsdämpfende Aufgaben. Von einer solchen Anordnung können nadel-förmige, steilflankige, aber dann exponentiell abklingende Pulse geliefert werden.

Aus der DE-AS 17 63 559 ist z. B. eine Funkenstrecke für starke Hochspannungsströme, d. h. für Hochstrom-Impulse, bekannt. Mangels eines impedanzrichtigen Wellenwiderstandsabschlusses lassen sich damit keine Rechteckimpulse erzeugen.

Hochspannungs-Rechteckimpulse werden beispielsweise für die Materialprüfung von Isolierstoffen benötigt. Dabei kann es sich um Isolierstoffe in festem, flüssigem oder gasförmigem Aggregatzustand handeln. Hohe Zeit- und/oder Amplitudenpräzision wird unter anderem zum Treiben von elektro-optischen Schaltern für Laser oder dergleichen sowie für gepulste Funken- und Ionisationskammern und zum Testen von elektronischen Bauteilen, Baugruppen und Geräten gefordert. Ein anderes Anwendungsgebiet, bei dem höhere Anforderungen an die Kurzschlußfestigkeit gestellt werden und die Formtreue der Pulse, d. h. Flankensteilheit und Amplitudenverlauf, von geringerer Bedeutung sind, ist die elektrostatische Filterung von Abgasen.

Zur Erzeugung derartiger Hochspannungs-Rechteckimpulse sind in besonderer Weise ausgebildete Einrichtungen zum Umformen einer von einer Gleichspannungsquelle gelieferten Eingangsleistung in eine Stoß-Ausgangsleistung unter Verwendung kapazitiver Spei-

cher und ein Pulserkopf für den Anschluß eines zu einer Last (Kondensator, Antenne, elektrostatisches Filter od. dgl.) führenden Koaxialkabels vorzusehen. In der Fachliteratur, beispielsweise in:

- VDE 0433, Teil 3/4.66, Seiten 1 bis 22: »Erzeugung und Messung von Hochspannungen«;
- The Review of Scientific Instruments, Band 20 Nr. 12 (Dezember 1949), Seiten 861 bis 869;
- Nachrichten elektronik, Heft 5 (1977), Seiten 119/120 und
- Ebeling, E.; Frungel, F.; Martinen, H.: »Practical Measurements at a Water-Blumlein 500 KV EMP Generator and its Oscilloscope Measurements« in einer Firmenschrift (?) der Fa. Impulsphysik GmbH, Hamburg, Seiten 131/134

finden sich nähere Angaben zu den sogenannten Kabelpulsern und Marx-Generatoren, jedoch keine Anregungen oder Hinweise für die Ausbildung der zur Erzeugung von Hochspannungs-Rechteckimpulsen erforderlichen Einrichtungen. Mit Marx-Generatoren lassen sich hohe Spannungen erzielen. Aufgrund der Entladung der Energiespeicher über die Lade- bzw. Ableitwiderstände sind damit jedoch keine Rechteckimpulse zu erreichen. Kabelpulser (nach Fletcher und Blümlein) besitzen ein aufzuladendes Koaxialkabel und eine Funkenstrecke oder ein Krytron als Schaltmittel. Mit ihnen können keine längeren Impulse erzeugt werden, da die Laufzeit im Kabel die Dachlänge bestimmt. 25 ms Pulsdauer erfordern etwa 25 km Kabellänge. Außerdem führen die Kabelverluste und die Dispersion der Welle zu einem Abfall des Pulsdaches und einer schlechten Rückflanke. Pulsschaltungen mit Ausgangstransformatoren sind aufgrund der begrenzten Kerninduktivität und des dadurch bedingten exponentiell abfallenden Impulsdaches und des negativen Unterschwingens der Ausgangsspannungsrückflanke für höhere Anforderungen ungeeignet.

Bezüglich der Schaltmittel kommen trotz der Fortschritte bei der Entwicklung von Halbleiterbauelementen, Transistoren und Thyristoren nicht in Betracht, wenn hohe Schaltleistungen, hohe Spannungsfestigkeit und kurze Schaltzeiten gefordert werden. Elektronenröhren sind infolge geringer spezifischer Stromdichte der Kathoden zu langsam. Größere Kathodenflächen führen zu größeren Kapazitäten der Röhrenelektroden.

Der Erfindung liegt die Aufgabenstellung zugrunde, einen Generator zu schaffen, mit dem Hochspannungs-Rechteckimpulse zu erzeugen sind, deren elektrische Daten in folgenden Bereichen liegen sollen:

Pulsamplitude:	—1 kV, ... —30 kV, ... —60 kV
Pulsdauer:	100 µs, ... 100 ms, ... > 10 s
Flankensteilheit:	ca. 1 ns, ... > 20 ns (Risettime 10%—90%)
Trigger-Jitter:	± 1 ns
Pulsfrequenz:	bis zu einigen kHz
Ausgang:	kurzschlußfest, Impedanz 50 Ω

Die Impulsflanken sollen frei von Überschwüngen sein. Dies alles kann nur mit Konstruktionen erreicht werden, bei denen neben den obenerwähnten Eigenschaften von bekannten Generatoren und Schaltmitteln auch die auftretenden physikalischen Erscheinungen gebührende Beachtung finden. Die gemäß der Erfindung hierfür vorgeschlagene Lösung ist gekennzeichnet

durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale.

Mit Funkenstrecken, speziell Hochdruck-Funkenstrecken, sind die Schaltleistungen und Schaltzeiten ebenfalls zu erreichen. Sie haben jedoch bei extremen Anforderungen bezüglich des Triggerjitters keine so guten Werte. Außerdem ist der Abbrand der Elektroden zu berücksichtigen.

Wesentlich für die erfindungsgemäße Ausbildung ist die Berücksichtigung und Beherrschung der elektrischen Vorgänge durch konstruktive Maßnahmen. Dies verdeutlicht die folgende Funktionsbeschreibung:

Vom Augenblick des Einschaltens ab findet der Ladungsaustausch zwischen dem Mantelgebilde als dem aufgeladenen kapazitiven Speicher und dem Innenkörper auf sternförmigen Pfaden statt. Induzierte Felder heben sich dabei gegenseitig auf. Der entstehende Spannungssprung am Kabelabschlußwiderstand setzt sich durch das Koaxialkabel zur angeschlossenen Lastkapazität fort. Die reflektierte Welle wird vom Kabelabschlußwiderstand aufgenommen. Frühestens nach der doppelten Laufzeit über das Koaxialkabel und der Entionisierungszeit der Einschaltstrecke kann der Impuls durch eine getriggerte Abschaltstrecke beendet werden. Die Impulsform, d. h. die Flanken am Anfang und am Ende, sind abhängig vom Aufbau und von der impedanzmäßigen Anpassung der Stoßkreiselemente. Die Lastkapazität plus Kapazität des Koaxialkabels muß klein sein gegenüber der des kapazitiven Speichers.

Für die Mindestlänge des Koaxialkabels gilt:

$$L_K = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{t_{rs}^2 + (2,2 \cdot Z_K \cdot C_L)^2}$$

wobei

- $L_K$  = Kabellänge in m,
- $C$  = Lichtgeschwindigkeit =  $0,3 \cdot 10^9$  m/s,
- $t_{rs}$  = Eigenanstiegszeit des Generators zwischen 10% und 90% der Impulshöhe,
- $Z_K$  = Wellenwiderstand des Kabels = 50 Ω,
- $C_L$  = Kapazität der Last in F.

Für Präzisionsanwendungen bezüglich der Amplitude der erzeugten Hochspannungs-Rechteckimpulse muß außerdem die Ladezeitkonstante sehr groß sein gegenüber der Entionisierungszeit der Einschaltstrecke, nämlich:

$$R_v \cdot C_{sp} > t_E$$

wobei

- $R_v$  = Ladewiderstand in Ω,
- $C_{sp}$  = Kapazität des Speichers in F,
- $t_E$  = Entionisierungszeit in s.

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung kann für den kapazitiven Speicher ein reusenartig aus parallelliegenden Stabkondensatoren aufgebautes Mantelgebilde vorgesehen werden. Eine derartige Anordnung weist einerseits besonders geringe Induktivitäten bei den Zuleitungen auf und hat andererseits noch konstruktive und funktionelle Vorzüge. Die Anzahl und die Größe der Stabkondensatoren lassen sich für unterschiedliche Anwendungszwecke leicht variieren. Außerdem können sie von Luft umströmt werden und so wesentlich zur Kühlung beitragen. In vielen Fällen reicht eine Kühlung über ein derartiges Reusengebilde und ein

zugeordnetes Gebläse aus.

Bei einer anderen, alternativen Ausführungsform der Erfindung kann ein doppelrohrartig aufgebautes Mantelgebilde für den kapazitiven Speicher vorgesehen werden mit Kondensatorflächenbelägen auf der Außenfläche des Gehäusemantels des Pulserrohres sowie auf der Innenfläche eines Kranzes, der am Sockelboden des Pulserrohres angebracht ist. Auch diese Konstruktion ist besonders günstig bezüglich der Zuleitungsinduktivitäten. Darüber hinaus sind nachträgliche Eingriffe und Veränderungen praktisch nicht oder nur versierten Fachleuten möglich, um damit die vorgesehenen Eigenschaften in größtmöglichem Umfang zu gewährleisten.

Bezüglich der Kühlung ist es bei derartigen Ausführungsformen der Erfindung zweckmäßig und sinnvoll, Kühlrippen am Kranz des Sockelbodens und/oder am Gehäusemantel vorzusehen. Sind an beiden Teilen Kühlrippen vorhanden, ist darauf zu achten, daß sich zwischen den Kanten der Kühlrippen, die unterschiedliche Potentiale aufweisen, keine unerwünschten Felder ausbilden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß Rippen, die am Kranz des Sockelbodens bzw. am Gehäusemantel angebracht sind, gegeneinander versetzt sind. Die Kanten können auch abgerundet oder gegeneinander isoliert sein.

Von wesentlicher Bedeutung für die Ausführungsformen der Erfindung ist der koaxiale Aufbau und die Ausbildung des Innenkörpers. Der in den Innenkörper integrierte Abschlußwiderstand muß seinen genauen Widerstandswert beibehalten und ist nur schwer zugänglich. Es ist deshalb besonders vorteilhaft, den Abschlußwiderstand aus keramischen Teilwiderständen auf einem Zugstab aufzubauen. Auf diese Weise lassen sich sowohl die Anforderungen bezüglich der Formgebung des Innenkörpers als auch des Widerstandswertes des Abschlußwiderstandes erfüllen. Die keramischen Teilwiderstände sind auf dem Zugstab mit geeigneten Mitteln, z. B. Tellerfedern, Druckplatten usw. zu befestigen.

In diesem Zusammenhang steht eine besonders vorteilhafte Weiterbildung dieser Ausführungsform der Erfindung, die durch Indiumfolien zwischen den keramischen Teilwiderständen zu deren Kontaktierung gekennzeichnet ist. Derartige Folien mit etwa 0,1 mm Dicke sind handelsüblich und haben sich für diesen Zweck außerordentlich gut bewährt.

Ein weiteres wesentliches Problem ist die Wellenwiderstandsanpassung auch insoweit, als Sprünge vermieden werden sollen. Hierfür ist eine Ausführungsform der Erfindung gedacht, die durch einen im Bereich des Abschlußwiderstandes exponentialtrichterförmig ausgearbeiteten Gehäusemantel des Pulserrohres gekennzeichnet ist. Diese Trichterform erstreckt sich im Innenraum des Pulserrohres im wesentlichen zwischen Isolierstützen an beiden Enden des Abschlußwiderstandes bzw. den sich daran anschließenden Teilen des Innenkörpers und weist in Richtung zum Pulserkopf hin sich stetig vergrößernde Durchmesser auf.

Zur Erzeugung sehr steiler Anstiegsflanken ist es vorteilhaft, eine triggerbare Schaltfunkenstrecke als Schaltmittel zum Einschalten eines Impulses vorzusehen. Der dadurch eingeleitete Ladungsaustausch wird unverzüglich von den Elektroden des eigentlichen Stromtores übernommen, so daß die volle Schaltleistung nicht von der getriggerten Schaltfunkenstrecke selbst zu übernehmen ist und Triggerjitter und Elektrodenabbrand in vernachlässigbarer Größenordnung gehalten werden können.

Wie bereits eingangs schon erwähnt ist, sind heutzutage

Thyristoren oder technologisch davon abgeleitete Halbleiterschaltungen weit verbreitet. Wenn jedoch sehr hohe Ströme auftreten und sehr steilflankige Impulse geschaltet werden sollen, bewähren sich nach wie vor Thyratrons als vertraute Vertreter der Röhren-Elektronik. Insbesondere für Präzisionsanwendungen wird deshalb als bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ein Thyatron als Stromtor-Pulserrohr vorgesehen. Ein solches Thyatron mit den wesentlichen oder gar allen bisher erwähnten Merkmalen ist bisher nicht handelsüblich. Das besagt allerdings nicht, daß für ein derartiges Spezialprodukt nicht auch auf dieses oder jenes handelsübliche Einzelteil zurückgegriffen werden kann. Dies ist besonders im Hinblick auf preiswertere, dann allerdings für Einsatzzwecke mit geringeren Anforderungen an die zu erzeugenden Hochspannungs-Rechteckimpulse vorgesehene Ausführungsformen wichtig.

Oftmals ist es wünschenswert, die Pulsdauer variieren zu können. Das bedeutet, daß Maßnahmen zur gezielten Beendigung eines Impulses erforderlich sind. Hierfür eignen sich Ausführungsformen der Erfindung, bei denen eine triggerbare Schaltfunkenstrecke zum Abschalten eines Impulses vorgesehen ist. Auf diese Weise kann natürlich auch Einfluß auf die Rückflanken der Impulse genommen werden, insbesondere dort eine große Steilheit erzielt werden.

Als zweckmäßige Maßnahme ist eine Schutzgasfüllung des Pulserrohres anzusehen. Dies ist nicht nur für Isolationszwecke sondern auch im Hinblick auf eine erforderliche Kühlung von Bedeutung. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung weisen deshalb einen sich über die gesamte Länge des Pulserrohres erstreckenden Schutzgasraum auf. Dazu sind gegebenenfalls Gaskanäle in Isolierstützen, die den Innenkörper halten, und Bohrungen durch das Material exponentialtrichterförmig ausgearbeiteter Gehäusemäntel vorzusehen. Der Schutzgasraum kann sich auch bis in den Pulserkopf hinein erstrecken, wenn ein gasdichter und/oder fester Anschluß für das Koaxialkabel vorhanden ist.

Für lösbare Anschlüsse zwischen Pulserkopf und Koaxialkabel ergibt sich jedoch mit den Maßnahmen, die für die Dichtung dienen, ein weiteres, wesentliches Problem. Im allgemeinen sind Materialien und Bauelemente, die für Dichtungszwecke gut geeignet sind, schlechte elektrische Leiter. Für die erzeugten Hochspannungsrechteckimpulse müssen aber Übergangswiderstände unbedingt vermieden werden. Hierfür sind bei Ausführungsformen der Erfindung Steckerkupplungen möglich, die durch mindestens eine ringförmige Nut mit einer eingelegten Wendelfeder je Kontaktstelle bei einer lösbaren, gasdichten Verbindung zwischen Pulserkopf und Koaxialkabel gekennzeichnet sind. Die Wendelfedern bestehen zweckmäßigerweise aus Bronze- oder Berylliumbronzedraht mit etwa 0,3 mm Durchmesser. Die Nut, in die eine solche Wendel eingelegt wird, ist jeweils so zu dimensionieren, daß in Druckrichtung die Abmessungen kleiner sind als senkrecht zur Druckrichtung. Die einzelnen Wendeln erhalten dadurch im zusammengesteckten bzw. -geschraubten Zustand der Kupplungsteile etwa elliptischen Querschnitt und bilden damit eine große Zahl elektrisch gut leitender Kontaktstellen.

Weiterhin können und sollten die Ausführungsformen der Erfindung mit einer Abschirmung gegen Röntgenstrahlung versehen sein, für deren Anbringung alle erforderlichen Maßnahmen jedem auf diesem Gebiet tätigen

gen Fachmann vertraut sind, so daß es hierzu keiner weiteren Erläuterungen bedarf.

Bedeutende Anwendungsgebiete für Hochspannungs-Rechteckimpulse mit hoher Präzision und variierbaren elektrischen Daten sind z. B. die Meß- und Prüftechnik und wissenschaftlich-technische Forschung und Entwicklung. Als Last, die über ein Koaxialkabel an einen Pulsgenerator gemäß den Ausführungsformen der Erfindung anzuschließen ist, kommen hauptsächlich kapazitive Lasten, d. h. konkrete Kondensatoren, aber auch Antennen, insbesondere logarithmischen periodische Antennen in Betracht. Mit Hilfe kapazitiver Lasten lassen sich beispielsweise Eigenschaften von Gasen, wie Ladungsträgerdriften oder die Leitfähigkeit, die Durchschlagfestigkeit von Isolierstoffen oder elektronische Schalt- und Bauelemente prüfen bzw. bestimmen. Antennen mit einer ausgeprägten Richtcharakteristik und einem breitbandigen Spektrum, über die die zur Verfügung stehende Pulsleistung möglichst weitgehend abgestrahlt wird, finden ihre Anwendung bei Einstrahlungsfestigkeitsprüfungen (EMC — Electro-Magnetic-Compatibility/EMV — elektromagnetische Verträglichkeit), bei denen Geräte oder Bauteile extremen Bedingungen ausgesetzt werden. Die im Megawatt-Bereich liegende, vom Pulsgenerator gelieferte Leistung kann dabei von einer entsprechend konstruierten Antenne bis etwa auf das 10fache verstärkt werden. Eine Flankensteilheit von 1 ns entspricht dabei einer Bandbreite von ca. 350 MHz. Außer den hochfrequenztechnischen Eigenschaften sind bei der Ausbildung und Konstruktion derartiger Antennen auch hochspannungstechnische Gesichtspunkte, wie Koronaeffekt, Schlagweite usw. zu berücksichtigen, damit ein »Stör«-Spektrum in Form einer elektromagnetischen Welle abgestrahlt werden kann.

In der Zeichnung sind Ausführungsformen der Erfindung schematisch dargestellt. Gleiche oder sich entsprechende Teile, die in mehreren Figuren erscheinen, weisen jeweils dieselbe Bezugsziffer auf. Die einzelnen Figuren zeigen:

Fig. 1 ein Stromtor-Pulserrohr im Querschnitt,

Fig. 2 einen Mantelkörper mit reusenartig angeordneten Stabkondensatoren,

Fig. 3 einen Mantelkörper mit coaxial zusammengesetztem Gehäusemantel und Kranz, im wesentlichen im Querschnitt,

Fig. 4 einen aus Teilwiderständen zusammengesetzten Abschlußwiderstand,

Fig. 5 eine lösbare, gasdichte Verbindung für den Anschluß eines Koaxialkabels an den Pulserkopf,

Fig. 6 ein Prinzipschaltbild eines Stoßkreises und

Fig. 7 ein Zeitfolge-Schaubild für das getriggerte Ein- und Ausschalten eines Hochspannungs-Rechteckimpulses.

Das in Fig. 1 dargestellte Stromtor-Pulserrohr 1 weist im wesentlichen folgende Einzelteile auf: den Sockelboden 5 mit der Elektrode K (Kathode) sowie der einen Elektrode einer triggerbaren Schaltfunkenstrecke S<sub>1</sub>. Hierzu gehört ein über einen Impuls-Transformator angeschlossener Triggerpulsgenerator P<sub>1</sub>. Zwischen dem Sockelboden 5 und dem Gehäusemantel 8 des Pulserrohres 1 ist ein Mantelgebilde 3 vorgesehen, das den für den Stoßkreis benötigten kapazitiven Speicher C<sub>sp</sub> enthält. Der kapazitive Speicher C<sub>sp</sub> wird über einen Vorwiderstand R<sub>v</sub> von der Gleichspannungsquelle U aufgeladen. Spezielle Ausführungsformen für das Mantelgebilde 3 sind in den Fig. 2 und 3 dargestellt und werden weiter unten noch eingehender erläutert.

Das Pulserrohr 1 ist in diesem Teil als Thyatron 20

ausgebildet, wobei der koaxiale Aufbau von wesentlicher Bedeutung ist. Die Gegenelektrode A (Anode) des Stromtores befindet sich an der einen Stirnfläche 6 eines Innenkörpers 4, der seinerseits im Gehäusemantel 8 an beiden Enden mittels Isolierstützen sowohl in radialer als auch in axialer Richtung gehalten ist. Eine zweite Schaltfunkenstrecke S<sub>2</sub> wird von den beiden zugehörigen Elektroden, eine am Gehäusemantel 8, die andere an der Elektrode A des Stromtores, gebildet und ist ebenfalls über einen Transformator an einem zugehörigen Triggerpulsgenerator P<sub>2</sub> angeschlossen.

Einen wesentlichen Teil des Innenkörpers 4 bildet der Abschlußwiderstand R. Er ist aus keramischen Teilwiderständen 17 zusammengesetzt, wie mehr im Detail in Fig. 4 dargestellt ist. Die äußere Wandung des Innenraumes wird vom Gehäusemantel 8 gebildet, der exponentialtrichterförmig so ausgebildet ist, daß sich sein Durchmesser in Richtung zum Pulserkopf 7 hin stetig erweitert. Bohrungen in der Isolierstütze und im Material des Exponentialtrichters sorgen für einen ausreichenden Gasaustausch.

Der Gehäusemantel 8 geht in den Außenleiter 9 des Pulserkopfes 7, der Innenkörper 4 in den Innenleiter 10 des Pulserkopfes 7 über. Der Pulserkopf 7 bildet damit den Übergang zwischen dem Pulserrohr 1 und dem anzuschließenden Koaxialkabel 2 und dient dazu, die unterschiedlichen Abmessungen auf der einen und auf der anderen Seite ohne unerwünschte Auswirkungen auf die Funktion des Generators aufeinander zu adaptieren. Das Koaxialkabel 2 führt zu einer kapazitiven Last C<sub>L</sub>, die als solche hier nicht dargestellt ist.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Mantelgebilde 3 wird der kapazitive Speicher C<sub>sp</sub> durch reusenartig angeordnete, parallelliegende Stabkondensatoren 11 gebildet. Ihre Befestigung an den Enden ist nicht dargestellt und kann in im Belieben eines Fachmannes liegender Weise erfolgen. Wesentlich ist allerdings aus funktionellen Gründen ein symmetrischer Aufbau und nach Möglichkeit ein Luftspalt zwischen einem Stabkondensator 11 und der Außenfläche des zylindrischen Mantelgebildes 3, um eine wirkungsvolle Kühlung zu gewährleisten.

Bei der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform eines Mantelgebildes 3 ist der Sockelboden 5 mit einem Kranz 15 versehen, der coaxial und über den Gehäusemantel 8 geführt wird. Die den kapazitiven Speicher C<sub>sp</sub> bildenden Kondensatorflächen sind dementsprechend auf der Außenfläche 12 des Gehäusemantels 8 bzw. auf der Innenfläche 14 des Kranzes angebracht. Der Spalt dazwischen wird mit einem geeigneten Dielektrikum ausgefüllt. Für Kühlzwecke sind sowohl am Kranz 15 als auch am Gehäusemantel 8 Kühlrippen 16 dargestellt. Da die beiden tragenden Teile für die Kühlrippen 16 unterschiedliches Potential aufweisen, muß z. B. durch Formgebung an den Kanten der Kühlrippen 16, vorzugsweise durch abgerundete Kanten, verhindert werden, daß sich unerwünschte Felder zwischen den Kühlrippen 16 ausbilden. Die Kühlrippen 16 können auch abwechselnd jeweils auf Lücke angebracht werden.

Der in Fig. 4 dargestellte Aufbau eines Abschlußwiderstandes R aus keramischen Teilwiderständen 17 gibt nicht alle Details wieder. So wurde auf die Darstellung von Muttern, Druckscheiben, Federringen usw. verzichtet. Die Teilwiderstände 17 werden auf einem Zugstab aufgereiht, an dem auch an der Stirnfläche 6 (s. Fig. 1) die Elektrode A und an der gegenüberliegenden Stirnfläche der Innenleiter 10 des Pulserkopfes 7 befestigt werden. Zwischen den keramischen Teilwiderständen 17 befinden sich Indiumfolien 19, die eine hervorragend

gute und zuverlässige Kontaktierung zwischen den einzelnen Teilwiderständen 17 gewährleisten.

Auch bei der in Fig. 5 dargestellten Ausbildungsform für einen lösbaren, gasdichten Anschluß eines Koaxialkabels 2 an den Pulserkopf 7 sind aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit solche Einzelheiten weggelassen, die für Zwecke der Erfindung nicht so wesentlich sind. Vom Pulserkopf 7 ist dessen Außenleiter 9 als Kupplungsteil 21 ausgebildet, d. h. zunächst z. B. mit einem Außengewinde versehen. Für einen O-Ring 28 zur Abdichtung ist eine Fase eingedreht. Weiterhin ist in der Stirnfläche eine Nut 24 vorgesehen, deren Breite (in radialer Richtung) größer ist als ihre Tiefe (in axialer Richtung). Eine dort eingelegte Wendelfeder 25 wird beim Schließen etwas zusammengedrückt, so daß jede Windung der Wendelfeder 25 vier Kontaktpunkte aufweist.

Nicht dargestellt ist übrigens auch ein Füllstutzen für Schutzgas, das zweckmäßigerweise von hier aus in das Pulserrohr 1 eingelassen wird.

Das Gegenstück für den Anschluß, den Kupplungsteil 22, bilden im wesentlichen zwei Druckscheiben 26, 27, die miteinander durch Schrauben oder dergleichen verbunden werden, aus gut leitendem Werkstoff, z. B. Messing, bestehen und zwischen denen der Außenleiter des Koaxialkabels 2, nach außen aufgebördelt, eingepreßt wird. Mit einer Überwurfmutter 23 werden die Kupplungsteile 21, 22 zusammengezogen, wobei z. B. zwischen der Druckscheibe 26 und der Überwurfmutter 23 noch ein Ringkörper aus geeignetem Kunststoff vorgesehen sein sollte und sowohl als Führungskörper, insbesondere aber auch als Gleitscheibe dient.

In Fig. 6 ist aus dem Prinzipschaltbild des Stoßkreises für einen Hochspannungs-Rechteckimpuls-Generator dessen Wirkungsweise zu erkennen. Der kapazitive Speicher  $C_{sp}$  wird über den Vorwiderstand  $R_v$  von der Gleichspannungsquelle gespeist. Durch einen Triggerimpuls (s. auch Fig. 7), der von einem Triggerpuls-generator  $P_1$  abgegeben wird, wird die Schaltfunkenstrecke  $S_1$  geschlossen, und die Ladung des kapazitiven Speichers  $C_{sp}$  gelangt stoßartig über den Widerstand  $R$  und das Koaxialkabel zur kapazitiven Last  $C_L$ . Der Widerstand  $R$  ist gleich dem Wellenwiderstand  $Z$  des Koaxialkabels. Die Spannung an der kapazitiven Last  $U_{CL}$  steht an, bis vom Triggerimpuls-generator  $P_2$  (s. auch Fig. 7) die Schaltfunkenstrecke  $S_2$  geschlossen wird und den Prüfling ( $C_L$ ) kurzschließt. Die Funken der Schaltfunkenstrecken  $S_1$  und  $S_2$  erlöschen und öffnen den betreffenden Strompfad, sobald die Spannung entsprechend abgesunken ist. Sie können nach der Entionisierungszeit wieder gezündet werden.

Die Stoßkreisinduktivität hängt im wesentlichen ab von der Stromschleife des Stoßspannungskreises und der Eigeninduktivität des Generators. Um die hiervon herrührenden Schwierigkeiten gering zu halten, empfiehlt sich auf jeden Fall ein räumlich gedrängter Aufbau. Bei koaxialem Aufbau wird darüber hinaus erreicht, daß infolge der Symmetrien eine Kompensation von Induktivitäten wesentlicher Strompfade herbeigeführt wird.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

THIS PAGE BLANK (USPTO)